



El sabor del agua: un cambio *bottom-up* se acerca

Crónica del Undécimo Congreso de Gustos y Olores de la IWA

Ricard Devesa Garriga

doctor ingeniero químico, responsable del Área de Química, Dirección de Calidad del Agua de Aigües de Barcelona, Empresa Metropolitana de Gestió del Cicle Integral de l'Aigua



Campus de la Universidad de Nueva Gales del Sur (UNSW) en Sidney (Australia).

Durante los días 14, 15 y 16 del pasado mes de febrero tuvo lugar en Sidney, Australia, el congreso mundial de gustos y olores en aguas, *11th IWA Symposium on Tastes, Odors and Algal Toxins in Water: Occurrence and Control*, organizado por la International Water Association (IWA) y la Universidad de Nueva Gales del Sur (UNSW). Los profesores Arash Zamyadi y Richard Stuetz, del departamento de ingeniería civil y de medio ambiente de dicha universidad [1] actuaron como *chairmen*. Este congreso se convoca con periodicidad trienal [2-6] y tiene por objetivo constituir un foro de debate técnico, especializado e interdisciplinar, sobre distintas perspectivas de los gustos y olores en el medio acuático: la química, la microbiología, la fisiología de los sentidos del olfato y gusto, el análisis sensorial, la ingeniería de proyectos, las relaciones con los consumidores, etc. En esta edición cobró especial importancia el tema de los sabores, olores y toxinas de algas en el sector del agua de consumo y la acuicultura.

El grupo IWA especialista en gustos y olores tradicional, el *Off-flavours in the Aquatic Environment*, se ha convertido recientemente en el *Tastes, Odours, and Algal Toxins in Drinking Water Resources and Aquaculture* para, por una parte expandir su campo de actuación de los recursos de agua y potabilización al sector de la acuicultura, y por otra, para incidir directamente en un tópico que ha crecido exponencialmente en los últimos años como es la proliferación de algas y las cianotoxinas.

El programa científico se compuso de 56 conferencias orales y un número similar de presentaciones en formato póster. Las sesiones de ponencias estuvieron dedicadas a los siguientes temas: episodios de gusto y olor (presencia y detección); métodos analíticos y modelización; percepción del consumidor; técnicas de tratamiento; acuicultura; y gestión de episodios. La vertiente técnica del congreso se completó con un taller de identificación de olores en aguas a cargo de la firma FlavorActiv.

La representación china en el congreso fue, de largo, la más numerosa. El grave deterioro del agua del lago Taihu en 2007 [7], con grave afectación del suministro de agua a la importante y turística ciudad de Wuxi, fue el punto de partida del inusitado interés que la prevención de estos eventos ha despertado en China desde entonces. Es habitual que un alto porcentaje de los artículos en revistas científicas del ramo procedan de universidades y de centros de investigación de este país oriental, encabezados por la Academia de Ciencias China. El presente simposio reafirmó esta tendencia. También muy nutrida fue la representación del país anfitrión, en el que la problemática del abastecimiento de agua tiene una importancia capital dado el clima árido o semiárido de la mayor parte de su geografía y la acuciante escasez de recursos de agua dulce.

Taller de cata de aguas.



Como quedó patente en la ceremonia de clausura del evento, y a modo de conclusión fundamental del mismo, se puede afirmar que entre los congresistas había el convencimiento de que la sociedad en general, y consumidores y profesionales en particular, van a demandar en un futuro próximo un cambio *bottom-up* en el sector del agua: es preciso ganar conocimiento y eficiencia, de forma que se pueda mejorar el bienestar de las personas y la salud de los ecosistemas. En el presente artículo, más adelante, se dan algunos detalles sobre los tópicos de gustos y olores en los que, a criterio de los especialistas, incidirá este cambio.

PROGRAMA CIENTÍFICO-TÉCNICO

Se comenta a continuación una reducida muestra de los trabajos presentados al congreso. Para disponer de información del resto de comunicaciones se remite al lector a la web del simposio [8].

¿Pueden predecirse las toxinas de algas?

Un estudio de la cianobacteria tóxica

Cylindrospermopsis raciborskii

Para Burford, M.A. y colaboradores, del Instituto de los Ríos Australianos, la Universidad Griffith de Brisbane y otras entidades, la capacidad de predecir las concentraciones de toxinas de algas en los recursos de agua es hoy en día un reto fundamental para las empresas de abastecimiento. El estudio se ha centrado en la toxina *cilindrospermopsina*, con efectos cito y hepatotóxicos notables. Se ha encontrado que la concentración de la toxina no correlaciona con la densidad celular, y ello es debido a que las distintas cepas del alga -que presentan diferencias genéticas notables-, tienen capacidades de producción de la toxina muy diferentes. Las cepas más tóxicas se han asociado a las zonas con mayores concentraciones de fósforo, aunque no ha sido posible identificar el mecanismo que explica esta circunstancia. El estudio corrobora la necesidad de profundizar en el conocimiento sobre las condiciones ambientales que promueven las cepas más tóxicas.

Caracterización bioquímica de los flóculos de algas usando técnicas espectroscópicas para un mejor conocimiento de la coagulación y floculación

Para González, A. y Henderson, R., de la Universidad de Nueva Gales del Sur (Sidney, Australia), las algas son generalmente eliminadas durante la etapa de coagulación-filtración y la consiguiente clarificación. Para me-



Ceremonia aborigen de la madre agua con la participación de los congresistas.



jorar la robustez de este proceso es preciso un mejor conocimiento del proceso de coagulación de las células de algas y las propiedades de los flóculos. Para ello se estudiaron distintas condiciones operacionales de coagulación-filtración en diferentes embalses de Australia. Un aspecto novedoso del trabajo fue que se usó la espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) para analizar la huella digital de las algas, flóculos, y la materia orgánica asociada a las mismas. La técnica mostró capacidades muy prometedoras en el estudio de flóculos de algas al detectar cambios en su composición orgánica y en la distribución de las biomoléculas.

Características del tratamiento y modelos predictivos para la eliminación de grupos típicos de agentes odoríferos por adsorción sobre carbón activo u oxidación en ETAP

Este trabajo de Xin Li y colaboradores, de la Escuela de Medioambiente de la Universidad Tsinghua (Pequín, China) y otras, trata el tema clásico del tratamiento de sustancias productoras de episodios de olor, por adsorción con carbón en polvo (PAC) u oxidación, de una forma muy exhaustiva: 29 compuestos (alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, piracinas y clorofenoles) y 3 agentes oxidantes: cloro, dióxido de cloro y permanganato potásico. El trabajo ha permitido establecer las correspondientes isothermas de adsorción y las constantes cinéticas de oxidación.

Los modelos revelaron que, en general, el coeficiente de partición carbono orgánico/agua presentaba correlación positiva con la capacidad de adsorción, mientras que era negativa con el carácter dipolar y tensión superficial. Para los clorofenoles, la adsorbibilidad estaba fundamentalmente por la constante de acidez y la reactividad molar.

En cuanto a la oxidación, los tres agentes se mostraron efectivos con los clorofenoles e inefectivos con las piracinas. Para el resto de compuestos se obtuvieron resultados desiguales, aunque en el dióxido de cloro fue el que claramente se mostró menos efectivo.

Presencia de fenilacetónitrilo como subproducto de desinfección nitrogenado en agua de bebida, y sus aminoácidos y algas precursoras

La cloración de aminoácidos es un tema recurrente que presenta interés desde dos puntos de vista: la formación de subproductos nitrogenados y la producción de olores. Este estudio de Xiaoyan Ma y colaboradores, de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Tecnológica de Zhejiang (Hangzhou, China) y otros, indica que la cloración de fenilalanina produce distintos subproductos aromáticos, de los cuales el fenilacetónitrilo es el dominante. Este compuesto no está recogido en la legislación pero presenta un olor desagradable a concentraciones del orden de 1 µg/L.

El fenilacetónitrilo es estable en agua clorada varios días. El estudio detectó la presencia de este compuesto en nueve abastecimientos en China y Estados Unidos. Dado que la presencia de aminoácidos es frecuente en los recursos de agua, la posible formación de fenilacetónitrilo debe ser tenida en cuenta por las empresas de abastecimiento.

Predicción de la apreciación del sabor del agua a partir de su composición mineral

Es bien conocido que el sabor del agua depende fundamentalmente de su residuo seco o nivel de sólidos totales disueltos (TDS). No obstante, no todos los iones influyen de la misma manera y, además, se dan efector

Ceremonia aborigen versión 2.0.



sinérgicos o de antagonismo entre ellos. El objeto del estudio, de Platikanov, S. y colaboradores, del IDAEA-CSIC, Agbar y Cetaqua (Barcelona), fue determinar los iones con un papel más significativo en la apreciación del sabor del agua por parte del consumidor, y el desarrollo de un modelo predictivo a partir de la composición química.

Un panel no profesional cató 25 muestras de agua, del grifo y embotelladas. El tratamiento quimiométrico aplicado incluyó las técnicas de análisis de componentes principales (PCA), el análisis de múltiples factores (MFA) i los mínimos cuadrados parciales (PLS). El proceso de cata constó de distintas sesiones en las que debían catarse 5 muestras cuidadosamente diseñadas de acuerdo con las recomendaciones del análisis sensorial.

Los catadores mostraron su preferencia por las aguas no muy mineralizadas y ricas en calcio, bicarbonato y sulfato, mientras que el sodio y el cloruro se mostraron como factores negativos. El cloro residual presente en las aguas de red fue también calificado negativamente, aunque con una relevancia claramente inferior a la mineralización de las aguas. La predicción de la apreciación de las aguas fue posible mediante PLS a partir de los resultados de nueve parámetros analíticos.

Complejidad de los olores producidos por mezclas de productos químicos

Este interesante trabajo de Gallagher, D.L. y colaboradores, del Instituto Politécnico de Virginia, Virginia Tech (Blackburg, Estados Unidos), se centró en la perspectiva sensorial del conocido incidente de contaminación del agua del grifo en Charleston, en enero de 2014, debido a la rotura de un tanque de un producto industrial a base de 4-MCHM (4-metil-ciclohexil-metanol).

Los consumidores y paneles de cata expertos coincidieron en calificar el olor del agua como 'licorice' (regaliz), de forma que este término se ha incorporado a la terminología de los gustos y olores. El producto técnico estaba formado mayoritariamente por dos isómeros del 4-MCHM, cis y trans, y multitud de elementos minoritarios. La conclusión principal del estudio, tras una minuciosa determinación de las propiedades físico-químicas de todos los componentes, es que en este tipo de mezclas complejas deben estudiarse todos sus componentes, tanto mayoritarios como minoritarios, para predecir su impacto bajo cualquier punto de vista.

Por una parte, el potencial odorífero de los componentes puede ser tremendamente distinto, de forma que compuestos muy minoritarios pueden ser los principales responsables de los problemas de olor. En este caso en concreto, se ha encontrado que un isómero (trans) tiene una potencia odorífera del orden 2.000 veces superior a la molécula cis. Por otra parte, los distintos componentes presentan propiedades muy distintas en cuanto a solubilidad en agua, volatilidad, coeficiente de reparto octanol-agua, toxicidad y mecanismo de interacción con los seres vivos. Por tanto, la propagación y efectos sobre la salud de los componentes individuales pueden ser muy distintos.

Incidentes de olor producidos por organismos a escala nacional en China: caracterización y causas (2007-2015)

El trabajo de Ze-hua Liu y colaboradores, de la Escuela de Medioambiente y Energía de la Universidad del Sur de la China (Guangzhou, China) y otros, se centra en la discusión de los siete episodios más graves que la comunidad china ha tenido que hacer frente en la última década. Geográficamente estos episodios abarcaron desde Mongolia Interior a la provincia de Shenzhen en el sur. La mayoría de ellos tuvieron lugar en verano-otoño con elevadas temperaturas, pero también los hubo en épocas frías. Geosmina y 2-MIB fueron, como ocurre a escala mundial, los compuestos causantes más habituales,



pero se detectaron otros de muy distinta procedencia, como aldehídos, mercaptanos y sulfuros orgánicos. La lista de organismos causantes del problema es diversa y en un caso, de gran gravedad, el episodio de olor fue debido a la muerte masiva y degradación de algas debido a una disminución de la concentración de oxígeno. El trabajo permite concluir la dificultad de generalizar estos episodios dada la gran variedad en las causas de los mismos.

Validación y comportamiento comparativo de sondas de fluorescencia *in situ* para el seguimiento de cianobacterias en tiempo real

Para Florence Choo y colaboradores, del Centro de Calidad del Agua Australiano (Adelaida), la frecuencia y la gravedad de los *blooms* de cianobacterias están en aumento a escala global. Las sondas de fluorescencia para el control *in situ* en tiempo real de estas especies parecen ser una técnica muy prometedora. El presente trabajo ha consistido en comprobar el comportamiento de distintas sondas. En general, se obtuvieron buenas correlaciones entre biovolumen de cianobacterias y mediciones de fluorescencia, pero se han detectado la existencia de distintos interferentes. En particular, las respuestas de todas las sondas vinieron condicionadas por la presencia de algas verdes.

En otro trabajo de los mismos autores en la misma línea, se comprobó la utilidad de estas sondas a nivel de plantas de tratamiento. Se trabajó en plantas en entornos climáticos claramente diferenciados (semiárido, intermedio, tropical) y con distintos tratamientos. Las sondas se mostraron muy útiles en el seguimiento de la eficacia de eliminación de cianobacterias en las distintas fases del proceso de potabilización.

Gestión del riesgo de toxinas de cianobacterias en aguas de recreo: un estudio de caso en los lagos del sudoeste de Queensland

Según apuntaron Cameron J. Veal y colaboradores, de la empresa Seqwater (Brisbane, Australia), la legislación australiana dispone desde 2008 de la *Guía para la gestión de riesgos en aguas de recreo*, con recomendaciones referentes a: agentes físicos; sol, calor, frío; microbiología; cianobacterias y algas; organismos acuáticos; agentes químicos; y criterios estéticos.

Seqwater es una compañía de suministro de agua de consumo de Queensland que también es responsable de la seguridad del uso recreacional de los la-

El famoso puente de la bahía de Sidney.



gos de abastecimiento. El programa de control sobre 65 puntos de 17 lagos en el periodo 2011-2016 se ha basado en el control del biovolumen de las algas y el recuento de células. Se controlan las especies siguientes: microcistina, saxitoxina, cilindrospermopsina, nodularina y anatoxina-a. Solamente existen niveles regulados para las primeras; para el resto de especies se han establecido unos valores de actuación diez veces superiores a los permitidos en la legislación nacional de aguas potables, asumiendo una posición conservadora de ingestión durante el baño de 200 mL de agua en vez de los 2 litros habituales de las normativas de aguas de consumo. El trabajo concluye la necesidad de contemplar parámetros adicionales a los establecidos en la norma para una gestión eficaz del riesgo de las actividades de baño.

Cinética y gestión de la eliminación de cianotoxinas y la lisis de cianobacterias en el tratamiento de aguas

Craig Adams y colaboradores, de Saint Louis University (Estados Unidos) y otros, las cianotoxinas llegan a las plantas de tratamiento en forma intra o extracelular. Es conveniente eliminar las primeras en la etapa de clarificación de forma que no sean liberadas a la fase acuosa. No obstante, es bien conocido que la oxidación de células de cianobacterias puede producir lisis y la consiguiente liberación. El trabajo se centra en la presentación del programa de cálculo CyanoTOX, desarrollado en el ámbito de la American Water Works Association (AWWA), para predecir el efecto producido por los agentes oxidantes más comunes: cloro, dióxido de cloro, cloraminas, permanganato y ozono. Este modelo predictivo en formato Excel puede ser muy útil para los

operadores de las plantas de tratamiento. Requiere la información siguiente: cianotoxina de interés, pH y temperatura del agua, concentración de la toxina, agente oxidante que se utiliza, y su concentración residual y tiempo de contacto (o alternativamente el valor CxT).

Estrategias de control para episodios periódicos de gustos y olores: perspectiva desde la región de los Grandes Lagos

Los Grandes Lagos, situados en la zona fronteriza este entre Estados Unidos y Canadá, constituyen un tema recurrente en las distintas ediciones del congreso, puesto que abastecen de agua potable a una zona de alta densidad de población en ambos lados de la frontera. Este trabajo de Ron Hofmann, del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto (Canadá), presenta las lecciones aprendidas en la gestión de episodios de gusto y olor en distintas plantas del área. Históricamente los filtros duales con carbón activo han sido muy empleados, aunque se han presentado algunos problemas con el lavado a contracorriente. Algunas plantas han optado por el ozono, pero su inconveniente es la alta inversión económica necesaria, teniendo en cuenta que su uso no es preciso en continuo. Últimamente se están imponiendo los tratamientos de

oxidación UV avanzada, con agua oxigenada o cloro. Y también la filtración biológica, que parece ser muy eficaz en la reducción de las concentraciones de geosmina y MIB por biodegradación.

EL SABOR DEL AGUA: RETOS A CORTO Y MEDIO PLAZO

Todo hace pensar que el tema de los sabores, olores y toxinas de algas en el sector del agua de consumo y la acuicultura va a experimentar un notable crecimiento en los próximos años. Con el cambio climático, previsiblemente se agravarán los problemas producidos por las cianobacterias, tanto a nivel organoléptico como toxicológico. Si durante el siglo XX el descriptor que encabezaba el ranking de preocupación para el sector era el asociado a la desinfección (cloro, lejía, desinfectante, etc.), con el cambio de siglo el de 'tierra, moho' ha tomado la delantera debido a la proliferación de eventos de geosmina, MIB y, en menor grado, de algunas piracinas. No obstante, la problemática de los gustos y olores no se circunscribe a estos dos descriptores. En la bibliografía se encuentran documentados una gran variedad de episodios cualitativamente muy dispares, y debidos a distintas causas, sean naturales o antropogénicos (**Tabla 1**).

Descriptor	Compuesto	Origen
Tierra, moho	Geosmina, MIB, alquimetoxipiracinas	Cianobacterias, actinomicetos, hongos
Rancio, moho	Haloanisoles	Biometilación de halofenoles
Cloro, desinfectante	Cloro, cloraminas, dióxido de cloro, ciclohexilamina, 3,5-dimetilpirazol, agentes desconocidos	Desinfección, productos de reacción de aminoácidos
Hierba, heno, madera	Cis-3-hexen-1-ol, cis-3-hexenil-acetato, beta-ciclocitral	Microcystis, vegetación, descomposición leñosa
Séptico, fecal, marisma, sulfuroso	Disulfuro de dimetilo, trisulfuro de dimetilo, ácido sulfhídrico, mercaptanos, índol, escatol	Vegetación podrida, algas, metionina
Vegetal, afrutado	Trans-2-cis-6-nonadienal	Olor a pepino de <i>Synura</i>
Pescado	Trimetilamina, trans-trans-2,4-heptadienal	Ácidos grasos poliinsaturados, aminas
Rancio	Octanal, diacetil, metilbutanal	Productos químicos industriales
Farmacéutico, medicinal	Halofenoles, trihalometanos iodados, 3-fluorometilfenol	Desinfección, productos químicos
Hidrocarburo, producto químico	BTEX, estireno, metil y etil-tercbutil-éter	Gasolina, materiales poliméricos
Disolvente dulce	Metilmetacrilato, dioxanos y dioxolanos, anisol	Productos químicos industriales
Producto químico	Olores varios	Vertidos industriales, derivados del petróleo



» Todo hace pensar que el tema de los sabores, olores y toxinas de algas en el sector del agua de consumo y la acuicultura va a experimentar un notable crecimiento en los próximos años

Por otra parte, y desde una perspectiva más amplia, los especialistas del sector han identificado los retos a los cuales deberá enfrentarse el sector del agua, a corto y medio plazo:

- Cambio climático e implicaciones en la calidad y cantidad de agua.
- Captación de recursos:
 - Ecología de sustancias peligrosas o sus metabolitos (toxinas, VOC, etc.).
 - Eutrofización, erosión, *runoff*, regresión de humedales.
 - Salinización de aguas superficiales y subterráneas, intrusión marina.
- *Blooms* de algas:
 - Producción de productos molestos y/o peligrosos.
 - Aumento de los costes de tratamiento.
- Cianotoxinas:
 - Diseminación de toxinas tropicales debido al aumento de temperatura.
 - Afectaciones a la salud humana y animal.
- Aguas de recreo:
 - Necesidad de normativas o guías.
- Generalización de los episodios de sabor y olor:
 - Proliferación de algas.
 - Olores a moho producidos por haloanisoles.
 - Olores a pescado.
 - Olores producidos por compuestos sulfurados.
 - Otros olores en el sistema de distribución y vertidos industriales.

- Consumidores:
 - Percepción de la calidad del agua y riesgos.
 - Comunicación entre consumidores y compañías de abastecimiento.
 - Satisfacción del consumidor.
- Percepción sensorial:
 - Nuevos y más robustos métodos de análisis sensorial.
 - Paneles de cata de agua.
 - Umbrales de detección, reconocimiento y aceptación.
- Normativas y *guidelines* sobre cuestiones estéticas, percepción y aceptabilidad (además de las relativas a salud):
 - Revisión/reevaluación de valores paramétricos
- Control/seguimiento de recursos de agua y distribución:
 - Tecnología *on line* para gustos y olores.
 - Sensores de fluorescencia para la detección precoz de *blooms* de algas.
 - Biología molecular (qPCR) y otras técnicas avanzadas.
 - Análisis químico *on line* (GC-MS, LC-MS, Orbitrap).
- Tratamiento:
 - Oxidación avanzada.
 - Gestión de plantas pequeñas o remotas.
 - Reutilización.

Respect, accept, learn... los peldaños de la formación en la UNSW.



Bibliografía

- [1] www.engineering.unsw.edu.au/civil-engineering.
- [2] Devesa, R. (2003). El conocimiento sobre gustos y olores del agua crece exponencialmente. Crónica del décimo congreso sobre Off-flavours in the Aquatic Environment de la IWA. Tecnoaqua, núm 4, noviembre-diciembre 2013, págs. 98-103.
- [3] Devesa, R. (2011). Las tecnologías avanzadas de tratamiento permiten mejorar el sabor del agua. Crónica del noveno Congreso Off Flavours de la IWA. Tecnología del Agua, núm. 333, págs. 67-71.
- [4] Devesa, R.; Izaguirre, G. (2009). Reflexiones sobre treinta años de investigación en sabores y olores en aguas. Crónica del octavo congreso mundial IWA en Daejeon. Tecnología del Agua, núm. 308, págs. 60-65.
- [5] Devesa, R. (2005). Gustos y olores en el medio acuático ¿Dónde estamos y adónde vamos? Crónica del Séptimo Congreso Mundial IWA en Cornwall, Canadá. Tecnología del Agua, núm. 266, págs. 90-95.
- [6] Devesa, R.; Matía, L. (2003). Últimos avances en el terreno de los olores y sabores en aguas. Crónica del Sexto Congreso Mundial IWA en Barcelona. Tecnología del Agua, núm. 233, págs. 94-102.
- [7] Qin, B.; et al. (2019). A drinking water crisis in Lake Taihu, China: linkage to climatic variability and lake management. Environmental Management, núm. 45, págs. 105-112.
- [8] <http://www.iwatando2017.org/conference-program>.